

OBJECT OBSERVING DEVICE

Patent Number: JP9281402
Publication date: 1997-10-31
Inventor(s): HAGIWARA TSUNEYUKI; OTAKI TATSURO
Applicant(s): NIKON CORP
Requested Patent: ☐ JP9281402
Application Number: JP19960119726 19960417
Priority Number(s):
IPC Classification: G02B21/24; G01B9/02; G01B11/00; G01N21/21; G01N21/84; G01N21/88; G02B21/00
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To eliminate the rotation of a phase remaining in an optical system and to observe the differential interference image of ideal contrast in arbitrary size of the aperture diaphragm of an illuminating system.

SOLUTION: The phase difference of light beams EO and OE in orthogonal polarization directions is adjusted by a polarizer 10 and a 1/4 wavelength plate 12, and is sheared by a Nomarski prism 14 to irradiate an object. Transmitted or reflected light through/by the object is synthesized by the Nomarski prism 20, and a coherent polarization component is taken out by a polarizing beam splitter 22. The adjustment of an intensity ratio is performed for the first and second images of the coherent polarized light component in first and second directions obtained, and also a differential interference image is obtained from a difference signal. Thus, the rotation of the remaining phase of the optical system is eliminated, so that the differential interference image of the ideal contrast is observed by the arbitrary size of the aperture diaphragm.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-281402

(43)公開日 平成9年(1997)10月31日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 21/24			G 0 2 B 21/24	
G 0 1 B 9/02			G 0 1 B 9/02	
	11/00		11/00	G
G 0 1 N 21/21			G 0 1 N 21/21	Z
21/84			21/84	D
審査請求 未請求 請求項の数11 F D (全 13 頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号 特願平8-119726

(22)出願日 平成8年(1996)4月17日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 荻原 恒幸

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72)発明者 大瀬 達朗

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

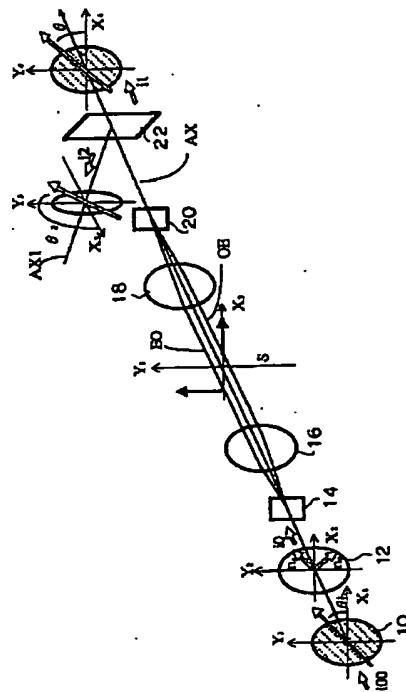
(74)代理人 弁理士 梶原 康稔

(54)【発明の名称】 物体観察装置

(57)【要約】

【課題】 光学系に残留する位相の回転を除去するとともに、任意の照明系の開口絞りの大きさに理想的なコントラストの微分干渉像を観察する。

【解決手段】 直交する偏光方向の光E O、O Eの位相差が、ポラライザ10、1/4波長板12によって調整され、ノルムスキープリズム14でシャーして物体に照射される。物体を透過又は反射した光は、ノルムスキープリズム20で合成され、更に偏光ビームスプリッタ22によって可干渉な偏光成分が取り出される。得られた第1、第2の方向の可干渉な偏光成分の第1、第2の画像に対し、強度比の調整が行われ、更にそれらの差信号から微分干渉像が得られる。これにより、光学系の残留位相の回転が除去され、理想的なコントラストの微分干渉像が任意の開口絞りの大きさに観察可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体を照明するための光を供給する照明手段；これによって供給された光のうち、直交する第1及び第2の偏光方向の光の位相差を調整するための位相差調整手段；これによって位相差が調整された第1の偏光方向の光と第2の偏光方向の光の光軸を相対的にシャワーして観察対象の物体に照射する光分離手段；物体を透過又は反射した前記第1の偏光方向の光と第2の偏光方向の光を合成する光合成手段；この光合成手段から供給された光から、第1及び第2の異なる方向において可干渉な偏光成分をそれぞれ得るためのフィルタ手段；これによって得られた第1及び第2の方向の可干渉な偏光成分に基づいて第1及び第2の画像を得る撮像手段；これによって得られた第1及び第2の画像に対し、強度調整を行って微分干渉像を得る演算手段；を備えたことを特徴とする物体観察装置。

【請求項2】 物体を照明するための光を供給する照明手段；これによって供給された光のうち、直交する第1及び第2の偏光方向の光の位相差を調整するための位相差調整手段；これによって位相差が調整された第1の偏光方向の光と第2の偏光方向の光の光軸を相対的にシャワーして観察対象の物体に照射する光分離手段；物体を透過又は反射した前記第1の偏光方向の光と第2の偏光方向の光を合成する光合成手段；この光合成手段から供給された光から可干渉な偏光成分をそれぞれ得るためのフィルタ手段；これによって得られた可干渉な偏光成分に基づいて画像を得る撮像手段；これによって得られた画像を格納するための画像格納手段；前記位相差調整手段によって第1の位相に調整されたときに格納された第1の画像と、第2の位相に調整されたときに格納された第2の画像に対し、強度調整を行って微分干渉像を得る演算手段；を備えたことを特徴とする物体観察装置。

【請求項3】 前記位相差調整手段が、回転可能なボラライザ及び1/4波長板を含むことを特徴とする請求項1又は2記載の物体観察装置。

【請求項4】 前記位相差調整手段が、電圧によって屈折率が制御可能な液晶であることを特徴とする請求項1又は2記載の物体観察装置。

【請求項5】 前記位相差調整手段が、光軸を横切る方向に前記光分離手段及び前記光合成手段の少なくとも一方を移動させる手段であることを特徴とする請求項1又は2記載の物体観察装置。

【請求項6】 前記光分離手段及び光合成手段の少なくとも一方が複屈折性プリズムであることを特徴とする請求項1、2、3、4又は5記載の物体観察装置。

【請求項7】 前記フィルタ手段は、偏光ビームスプリッタ又はアナライザであることを特徴とする請求項1、2、3、4、5又は6記載の物体観察装置。

【請求項8】 前記照明手段が、レーザ光源と、これから出力されたレーザビームを走査する走査手段を含むこ

とを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6又は7記載の物体観察装置。

【請求項9】 前記走査手段を、物体を透過又は反射した光の光路中に配置するとともに、物点と共役な位置にピンホールを設けたことを特徴とする請求項8記載の物体観察装置。

【請求項10】 前記演算手段は、前記第一及び第二の画像の信号強度比を調整する信号比調整手段；これによって所定の強度比に調整された二つの信号の差信号を得る差信号演算手段；を備えたことを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6、7、8又は9記載の物体観察装置。

【請求項11】 前記信号比調整手段は、主光線以外の光線の付加的な位相差に相当する強度比調整を行うことを特徴とする請求項11記載の物体観察装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、微分干渉顕微鏡などの物体観察装置にかかり、更に具体的には、光学系に残留する位相回転や開口絞りに対するコントラストの改良に関するものである。

【0002】

【背景技術と発明が解決しようとする課題】物体観察装置、例えば微分干渉顕微鏡において、観察対象の物体が存在しないときの理想的な光学系による干渉像の強度は、一般的にゼロとなる。しかし、主光線以外の光線に対しては、対物レンズなどによる付加的な位相差が残留する。このような光学系に残留する位相の回転を除去するための一つの手法としては、光学式レクチファイアがある。また、かかる残留位相の回転は、照明系の開口絞りを絞ることにによっても改善される。

【0003】しかしながら、光学的レクチファイアを用いる手法は、落射照明の微分干渉顕微鏡には利用することが困難であるという不都合がある。また、開口絞りを絞る手法は、照明系の全開口を利用するレーザ走査式の顕微鏡には適用が不可能であり、結果的に良好なコントラストを得ることができない。また、照明系の開口絞りを絞ると光量の損失が大きくなってしまいうという不都合もある。

【0004】この発明は、以上の点に着目したもので、光学系に残留する位相の回転を除去するとともに、任意の照明系の開口絞りの大ききで理想的なコントラストの微分干渉像を観察することができ、結像式やレーザ走査式の顕微鏡を単純な光学系によって構成することができる物体観察装置を提供することを、その目的とするものである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、物体を照明するための光を供給する照明手段(50,54)；これによって供給された光のうち、直交する第1及び第2の偏光方

向の光の位相差を調整するための位相差調整手段(10,12,14,20,24);これによって位相差が調整された第1の偏光方向の光と第2の偏光方向の光の光軸を相対的にシアーして観察対象の物体に照射する光分離手段(14,24);物体を透過又は反射した前記第1の偏光方向の光と第2の偏光方向の光を合成する光合成手段(20,24);この光合成手段から供給された光から、第1及び第2の異なる方向において可干渉な偏光成分をそれぞれ得るためのフィルタ手段(22);これによって得られた第1及び第2の方向の可干渉な偏光成分に基づいて第1及び第2の画像を得る撮像手段(70,74);これによって得られた第1及び第2の画像に対し、強度調整を行って微分干渉像を得る演算手段(76,78);を備えたことを特徴とする。

【0006】他の発明は、物体を照明するための光を供給する照明手段(100);これによって供給された光のうち、直交する第1及び第2の偏光方向の光の位相差を調整するための位相差調整手段(10,12,14,20,24);これによって位相差が調整された第1の偏光方向の光と第2の偏光方向の光の光軸を相対的にシアーして観察対象の物体に照射する光分離手段(14,24);物体を透過又は反射した前記第1の偏光方向の光と第2の偏光方向の光を合成する光合成手段(20,24);この光合成手段から供給された光から可干渉な偏光成分をそれぞれ得るためのフィルタ手段(110);これによって得られた可干渉な偏光成分に基づいて画像を得る撮像手段(114);これによって得られた画像を格納するための画像格納手段(116);前記位相差調整手段によって第1の位相に調整されたときに格納された第1の画像と、第2の位相に調整されたときに格納された第2の画像に対し、強度調整を行って微分干渉像を得る演算手段(66);を備えたことを特徴とする。

【0007】主要な態様によれば、前記位相差調整手段は、回転可能なポラライザ(10)及び1/4波長板(12)、電圧によって屈折率が制御可能な液晶、光軸を横切る方向に前記光分離手段及び前記光合成手段の少なくとも一方を移動させる手段(64)、のいずれかで構成される。

【0008】前記光分離手段及び光合成手段の少なくとも一方は、例えば、複屈折性プリズム(14,20,24)によって構成される。前記フィルタ手段は、例えば、偏光ビームスプリッタ(22)又はアナライザ(110)で構成される。前記照明手段は、例えば、レーザ光源(50)と、これから出力されたレーザビームを走査する走査手段(54)を含む。走査手段は、例えば、物体を透過又は反射した光の光路中に配置され、物点と共役な位置にピンホール(90,92)が設けられる。また、前記演算手段は、前記第一及び第二の画像の信号強度比を調整する信号比調整手段(76);これによって所定の強度比に調整された二つの信号の差信号を得る差信号演算手段(7

8);を備えたことを特徴とする。信号比調整手段は、主光線以外の光線の付加的な位相差に相当する強度比調整を行う。

【0009】本発明の主要な態様には、次のようなものもある。

(1)光透過性の物体を観察する物体観察装置であって、第一の光線を射出するレーザ光源と、第一の光線を第一の偏光状態と第二の偏光状態の二つの直線偏光であって互いに異なる方向に進行する光線に分離する光線分離手段と、前記二つの直線偏光の光線を集光し、光透過性の物体内の第一の領域内で二つのビームスポットを形成するコンデンサレンズと、前記二つのビームスポットを前記第一の領域内で2次元走査する走査手段と、前記光透過性の物体から透過方向に発生する光線を集光し得る対物レンズと、前記光透過性の物体を透過し、前記対物レンズによって屈折された前記二つの直線偏光の光線を第三の偏光状態の第二の光線に合成する、光線合成手段と、前記第二の光線の第一の偏光状態と第二の偏光状態の二つの直線偏光の光線の相対的な位相差量で有る第一の位相差を調整する位相差調整手段と、前記第二の光線を、第四の偏光状態と第五の偏光状態の二つの直線偏光の光線に分離する、偏光分離手段と、前記第四の偏光状態の光線を光電変換する第一の光電変換素子と、前記第五の偏光状態の光線を光電変換する第二の光電変換素子と、前記第一の光電変換素子と、前記第二の光電変換素子の各々の光電変換信号の信号強度の比を調整する信号比調整手段と、前記信号比調整手段によって所定の強度比になった二つの信号の差である差信号を出力する差信号出力手段を有することを特徴とする物体観察装置。

【0010】(2)光反射性の物体を観察する物体観察装置であって、第一の光線を射出するレーザ光源と、前記光反射性の物体から反射方向に発生する光線を集光し得る光軸に沿って配置された対物レンズと、前記第一の光線を、前記光軸に沿って配置された前記対物レンズに向けて反射させる第一のハーフミラーと、前記第一のハーフミラーで反射された第一の光線を、第一の偏光状態と第二の偏光状態の二つの直線偏光であって互いに異なる方向に進行する光線に分離する光線分離手段を有し、前記対物レンズは前記二つの直線偏光の光線を集光し、光反射性の物体内の第一の領域内で二つのビームスポットを形成し、前記第一の偏光状態と第二の偏光状態の二つの直線偏光であって互いに異なる方向に進行する光線は、前記対物レンズを通過し、前記光反射性の物体に衝突し、反射され、再び該対物レンズに入射し、前記光線分離手段に二再び入射し、第三の偏光状態の第二の光線になって該光線分離手段を射出し、前記第一のハーフミラーを透過し、更に、前記二つのビームスポットを前記第一の領域内で2次元走査する走査手段と、前記第一の偏光状態と第二の偏光状態の二つの直線偏光の光線

の相対的な位相差量である第一の位相差を調整する位相差調整手段と、前記第二の光線を第四の偏光状態と第五の偏光状態の2つの直線偏光の光線に分離する、第一の偏光分離手段と、前記第四の偏光状態の光線を光電変換する第一の光電変換素子と、前記第五の偏光状態の光線を光電変換する第二の光電変換素子と、前記第一の光電変換素子と、前記第二の光電変換素子の各々の光電変換信号の信号強度の比を調整する信号比調整手段と、前記信号比調整手段によって所定の強度比となった二つの信号の差である差信号を出力する差信号出力手段を有することを特徴とする物体観察装置。

【0011】(3) 前記第一の位相差は π の整数倍であることを特徴とする(1)又は(2)記載の物体観察装置。

(4) 前記第四の偏光状態は直線偏光であって、前記第一の偏光状態の直線偏光の偏波面に対して 90° の整数倍をなすことを特徴とする(1)～(3)のいずれかに記載の物体観察装置。

(5) 前記第五の偏光状態は直線偏光であって、前記第四の偏光状態の直線偏光の偏波面に対して直交することを特徴とする(1)～(4)のいずれかに記載の物体観察装置。

【0012】(6) 光透過性の物体を観察する物体観察装置であって、第一の光線を射出する光源と、該光源からの第一の光線をボラライザ角に平行な直線偏光にする、回転可能なボラライザと、ボラライザを透過した第一の光線を、第一の偏光状態と第二の偏光状態の2つの直線偏光であって互いに異なる方向に進行する光線に分離する光線分離手段と、前記2つの直線偏光の光線を集光し、光透過性の物体内の第一の領域内を一括して透過照明するコンデンサレンズと、前記光透過性の物体から透過方向に発生する光線を集光し得る対物レンズと、前記光透過性の物体を透過し、前記対物レンズによって屈折された前記2つの直線偏光の光線を第三の偏光状態の第二の光線に合成する、光線合成手段と、前記第一の偏光状態と第二の偏光状態の2つの直線偏光の光線の相対的な位相差量を調整する位相差調整手段と、前記第三の偏光状態の第二の光線を、第四の偏光状態の光線にする、アナライザと、前記第四の偏光状態の光線を光電変換する撮像素子と、前記撮像素子の出力する画像信号を読みだし可能な状態で格納する、画像格納手段を有し、同一物体の画像であって、前記位相差調整手段による前記第一の偏光状態と前記第二の偏光状態の2つの直線偏光の光線の相対的な位相差量が、第一の位相差の場合の第一の画像と第二の位相差の場合の第二の画像を前記画像格納手段に格納し、前記画像格納手段から同一物体の画像であって、前記位相差調整手段による前記第一の偏光状態と前記第二の偏光状態の2つの直線偏光の光線の相対的な位相差量が、第一の位相差の場合の第一の画像と第二の位相差の場合の第二の画像を読みだし、さら

に、前記第一の画像と第二の画像の信号強度の比を調整する信号比調整手段と、前記信号比調整手段によって所定の強度比になった二つの画像信号の差である差画像を出力する差画像出力手段を有することを特徴とする物体観察装置。

【0013】(7) 光反射性の物体を観察する物体観察装置であって、第一の光線を射出する光源と、前記光反射性の物体から反射方向に発生する光線を集光し得る光軸に沿って配置された対物レンズと、前記第一の光線をボラライザ角に平行な直線偏光にする、回転可能なボラライザと、前記第一の光線を、前記光軸に沿って配置された前記対物レンズに向けて反射させるハーフミラーと、ハーフミラーで反射された第一の光線を、第一の偏光状態と第二の偏光状態の2つの直線偏光であって互いに異なる方向に進行する光線に分離する光線分離手段を有し、前記第一の偏光状態と第二の偏光状態の2つの直線偏光であって互いに異なる方向に進行する光線は、前記対物レンズを通過し、前記光反射性の物体に衝突し、反射され、再び該対物レンズに入射し、前記光線分離手段に再び入射し、第三の偏光状態の第二の光線になって該光線分離手段を射出し、前記ハーフミラーを透過し、更に、前記第一の偏光状態と第二の偏光状態の2つの直線偏光の光線の相対的な位相差量を調整する位相差調整手段と、前記第三の偏光状態の第二の光線を、第四の偏光状態の光線にする、アナライザと、前記第四の偏光状態の光線を光電変換する撮像素子と、前記撮像素子の出力する画像信号を読み出し可能な状態で格納する、画像格納手段を有し、同一物体の画像であって、前記位相差調整手段による前記第一の偏光状態と前記第二の偏光状態の2つの直線偏光の光線の相対的な位相差量が、第一の位相差の場合の第一の画像と第二の位相差の場合の第二の画像を前記画像格納手段に格納し、前記画像格納手段から同一物体の画像であって、前記位相差調整手段による前記第一の偏光状態と前記第二の偏光状態の2つの直線偏光の光線の相対的な位相差量が、第一の位相差の場合の第一の画像と第二の位相差の場合の第二の画像を読み出し、更に、前記第一の画像と第二の画像の信号強度の比を調整する信号比調整手段と、前記信号比調整手段によって所定の強度比になった2つの画像信号の差である差画像を出力する差画像出力手段を有することを特徴とする物体観察装置。

【0014】(8) 前記第一の位相差と第二の位相差は π の奇数倍であることを特徴とする前記(6)又は(7)記載の物体観察装置。

(9) 前記光線分離手段と前記光線合成手段のどちらか一方、または両方が複屈折性プリズムであることを特徴とする前記(1)～(8)のいずれかに記載の物体観察装置。

(10) 前記位相差調整手段は、 $1/4$ 波長板と光軸を中心として回転可能なボラライザとの組合せであることを

特徴とする前記(1)～(9)のいずれかに記載の物体観察装置。

【11】前記位相差調整手段は、前記光線分離手段と前記光線合成手段のどちらか一方、または両方を光軸を横切る方向に移動させることによって位相差を調整し得ることを特徴とする前記(1)～(9)のいずれかに記載の物体観察装置。

【0015】(12)前記偏光分離手段は偏光ビームスプリッタであることを特徴とする前記(1)～(11)のいずれかに記載の物体観察装置。

【0016】本発明によれば、照明手段から供給された光のうち、直交する第1及び第2の偏光方向の光の位相差が、位相差調整手段によって調整される。調整後の第1の偏光方向の光と第2の偏光方向の光の光軸は、光分離手段によってを相対的にシャーして観察対象の物体に照射される。物体を透過又は反射した前記第1の偏光方向の光と第2の偏光方向の光は、光合成手段によって合成され、更に第1及び第2の異なる方向において可干渉な偏光成分がフィルタ手段によって取り出される。

【0017】撮像手段では、得られた第1及び第2の方向の可干渉な偏光成分に基づいて第1及び第2の画像が得られる。これによって得られた第1及び第2の画像に対し、演算手段で強度調整を行って微分干渉像を得る。これにより、光学系に残留する位相の回転が除去され、理想的なコントラストの微分干渉像が任意の照明系の開口絞りの大きさに観察可能となる。

【0018】この発明の前記及び他の目的、特徴、利点は、以下の詳細な説明及び添付図面から明瞭になろう。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、発明の実施の形態について、実施例を参照しながら詳細に説明する。本発明にかかる物体観察装置は、例えば微分干渉顕微鏡、特にレーザ走査型の顕微鏡に好適である。

【0020】

【第1の基本的形態】最初に、実施例の第1の基本的な形態について図1を参照しながら説明する。なお、同図中の各素子に対して、それぞれ直交座標($X1, Y1$)～($X4, Y4$)は光軸AXに対して直交し、かつ同じ方位となるように設定される。また、同様に直交座標($X5, Y5$)を、光軸AXを折り返した反射側光軸AX1に直交し、かつ直交座標($X1, Y1$)～($X4, Y4$)と同じ方位となるように設定する。つまり、照明側から見たときに、各座標軸が重なるように座標が設定される。以下、それらの方位を単に(x, y)と表現する。

【0021】図示しない光源から射出された照明用の光線i00は、回転可能なポラライザ10、 $1/4$ 波長板12、ノマルスキープリズム14を順に透過してコンデンサレンズ16に入射する。ポラライザ10は、x軸に対する方位角 $\theta1$ が透過する光の偏光方向であり、この角度 $\theta1$ は、ポラライザ10を回転させることで変更可能

となっている。 $1/4$ 波長板12は、光学軸である早い軸neとこれに直交する遅い軸noを有し、早い軸neの方位角はx軸に対して 45° 、遅い軸noの方位角はx軸に対して -45° に設定されている。入射光のうち、遅い軸noに平行な偏波面の直線偏光成分は、早い軸neに平行な偏波面の直線偏光成分に対して $1/4$ 波長(90°)の位相遅れが生じる。 $1/4$ 波長板12を透過した光線は、ノマルスキープリズム14とコンデンサレンズ16によって、物体面Sである($X3, Y3$)座標平面上で 2σ シャーした光線EO、OEとなる。光線EOは、Y3軸に平行な偏波面の直線偏光となり、光線OEはX3軸に平行な偏波面の直線偏光となる。

【0022】例えば、ポラライザ10の方位角 $\theta1$ が $1/4$ 波長板12の早い軸neと一致しているときは、光線i00のうちの早い軸ne方向の偏光光がそのまま透過する。ポラライザ10の方位角 $\theta1$ が $1/4$ 波長板12の遅い軸noと一致しているときは、光線i00のうちの遅い軸no方向の偏光光が $1/4$ 波長板12による 90° 位相遅れの後に透過する。このように、ポラライザ10と $1/4$ 波長板12の作用によって、直交する2つの直線偏光成分EO、OEの位相差が任意に調整可能となっている。具体的には、光線EO、OEの相対的な位相差 α は、ポラライザ角 $\theta1$ を変化させることで、後述する(2)式のように可変できる。

【0023】次に、物体面S上の物体を透過した光線は、対物レンズ18、ノマルスキープリズム20の作用により再び1つの光線に合成される。なお、物体が位相差の無い完全な平行平板である場合に、2つのノマルスキープリズム14、20の間で照明光EO、OE間に与えられる位相差が 2π の整数倍となるように、ノマルスキープリズム14、20の位置が光軸AXを横切る方向に調整される。

【0024】ノマルスキープリズム20によって再び1つになった光線は、偏光ビームスプリッタ22に入射する。偏光ビームスプリッタ22に達した光線のうち、x軸に対して $\theta2=45^\circ$ の方位に平行な偏波面の成分は透過して光線i1となり、x軸に対して $\theta3=135^\circ$ の方位に平行な偏波面の成分は反射されて光線i2となり、光軸AX1に沿って進行する。これにより、照明光OE、EOからそれぞれ振幅干渉成分が取り出される。そして、後述するように、2つの干渉成分の差から微分干渉像が得られる。

【0025】次に、レンズのOTFの影響は考えないものとし、物体、例えばレチクルなどの段差位置における光線i1、i2による微分干渉像の強度を求める。なお、観察対象の物体の段差は、基本的に1次元の構造であるので以下の解析では光学系を含めてすべての1次元で行うこととする。実際の光学系は2次元であるが、以下の議論では1次元の仮定で全く差し支えない。また、以下の説明では、結像型の微分干渉顕微鏡の結像面における

点像の強度をもって説明するが、レーザ走査光学系の微分干渉顕微鏡によっても焦点深度が異なる以外は、結像型の微分干渉顕微鏡における照明系の σ 値を適当に設定すれば全く同一の微分干渉像が得られるので、走査型のものにも基本的に適用可能である。

【0026】また、この実施例は微分干渉顕微鏡の光学系を踏襲したレーザ走査顕微鏡の構成となっている。このため、光線分離手段であるノマルスキープリズム14によって生じる物体上の2つのビームの振幅や位相情報は、光線合成手段であるノマルスキープリズム20内における2つの光波の干渉によって生じる1つの光線に保存される。従って、像平面以外の位置、例えば瞳共役平面近傍などに設置された光電変換素子によっても微分干

$$\begin{aligned} O(+\delta) &= a \\ O(-\delta) &= b \cdot \exp(j\psi) \end{aligned}$$

..... (1)

【0029】微分干渉顕微鏡によって付加される位相差を α_1 , α_2 とすれば、ボラライザ10の方位角 θ_1 との関係は、次の(2)式のようにになる。そして、光線i1, i2に対応した理想的な光学系における干渉像の強度Ii

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 2\theta_1 - \pi/2 \\ \alpha_2 &= 2\theta_1 + \pi/2 \end{aligned}$$

渉像を得ることができる。干渉像を得るための撮像手段（例えば光電変換素子）の設置位置は、光線合成手段以降ならばどこでもよい。

【0027】図1に示す微分干渉顕微鏡によって得られる一つの像点には、ノマルスキープリズム14のシャーによる間隔 2σ だけ互いに離れた2つの物点に対応する。これらを $O(+\delta)$, $O(-\delta)$ として両者の相対的な位相差を ψ とすれば、次の(1)式のようにになる。なお、この(1)式は複素表示であり、a, bは振幅成分を表わし、 $\exp(j\psi)$ は位相成分を表わす。「j」は虚数単位である。

【0028】

【数1】

1(α_1), Ii2(α_2)は、Cを定数として次の(3)式のようにになる。

【0030】

【数2】

..... (2)

【数3】

$$\begin{aligned} I_{i1}(\alpha_1) &= I_{i1}(\theta_1) \\ &= 1/2 |C|^2 |a \cdot \exp(\alpha_1) + b \cdot \exp(\psi)|^2 \\ I_{i2}(\alpha_2) &= I_{i1}(\theta_1 + \pi/2) \\ &= 1/2 |C|^2 |a \cdot \exp(\alpha_2) + b \cdot \exp(\psi)|^2 \end{aligned}$$

..... (3)

【0031】ここで、ボラライザ10の方位角 $\theta_1 = -\pi/4$ とすると、光線i1, i2に対応した2つの像平面上での理想的な光学系による干渉像の強度Ii1(α_1), Ii2(α_2)は、次の(4), (5)式でそれぞれ示

$$\begin{aligned} I_{i1}(\alpha_1) &= I_{i1}(\theta_1) \\ &= 1/2 |C|^2 |a \cdot \exp(2\theta_1 - \pi/2) + b \cdot \exp(\psi)|^2 \\ &= 1/2 |C|^2 [a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \psi] \end{aligned}$$

..... (4)

【数5】

$$\begin{aligned} I_{i2}(\alpha_2) &= I_{i1}(\theta_1 + \pi/2) \\ &= 1/2 |C|^2 |a \cdot \exp(2\theta_1 + \pi/2) + b \cdot \exp(\psi)|^2 \\ &= 1/2 |C|^2 [a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos \psi] \end{aligned}$$

..... (5)

【0033】(4)式からすると、物体がない場合は、 $a=b$, $\psi=0$ であるから、理想的な光学系による干渉像の強度Ii1(α_1)はゼロとなる。しかし、主光線以外の光線には対物レンズ18などによる付加的な位相差が残留する。例えば、透過照明型の微分干渉顕微鏡で、物体が存在しないときに照明系の開口絞りを小さくすることによって主光線のみを干渉させて、前記(4)式の

される。

【0032】

【数4】

干渉像強度Ii1(α_1)を、ほとんどゼロにすることができる。しかし、開口絞りを開けていくと、背景（バックグラウンド）が徐々に明るくなるという現象が実験的に観察できる。これは、上述した付加的な位相差の残留が原因である。

【0034】ここで、残留している主光線以外の光線の付加的な位相差を、物体の位置によらない位相物体O0

として考慮し、次の(6)式にのように定義する。この式で、「 a_0 」は照明光の振幅を示し、 Φ は主光線以外の光線の付加的な位相差の平均値である。なお、「 j 」

$$\begin{aligned} O_0(+\delta) &= a_0 \\ O_0(-\delta) &= b_0 \cdot \exp(j\Phi) \end{aligned}$$

は、前記(1)式と同様に虚数単位である。

【0035】

【数6】

..... (6)

【0036】主光線以外の光線の付加的な位相差は、実際には一つの値ではなく、光線が対物レンズ18の瞳平面を通過するときの瞳平面上の位置によって変化する。従って、ノマルスキープリズム20などでその位相差を調整しても、開口絞りを開けた状態における物体がないときの強度 $I_{i1}(\alpha_1)$ (前記(4)式)を完全にゼロとすることはできない。しかし、主光線以外の光線の付加的な位相差は一般に小さな値であるので、平均値で代表

しても差し支えない。そこで、位相物体 O_0 を理想的な光学系で観察したときの強度、つまり開口絞りを開けた状態における背景強度 $I_{i1}(O_0, \alpha_1)$ 、 $I_{i2}(O_0, \alpha_2)$ を、次の(7)、(8)式のように得る。これらは、前記(4)、(5)式に前記(6)式の振幅及び位相を代入して得られる。

【0037】

【数7】

$$I_{i1}(O_0, \alpha_1) = |C|^2 a_0^2 [1 - \cos \Phi]$$

..... (7)

【数8】

$$I_{i2}(O_0, \alpha_2) = |C|^2 a_0^2 [1 + \cos \Phi]$$

..... (8)

【0038】次に、背景の強度の差動出力 S_0 を、 k を定数として次の(9)式で定義する。この(9)式に前記(7)、(8)式を代入すると、次の(10)式が得られる。この式から、背景強度の差動出力 $S_0 = 0$ とすれば、背景を完全にゼロとすることができる。このときの $\cos \Phi$ と定数 k との関係を求めると、次の(11)式のよ

うになる。このようにして、主光線以外の光線の付加的な位相差、別言すれば光学系に残留する位相の回転が消去されるのと同等の効果を、画像として得ることができる。

【0039】

【数9】

$$S_0 = I_{i1}(O_0, \alpha_1) - k \cdot I_{i2}(O_0, \alpha_2)$$

..... (9)

【数10】

$$S_0 = |C|^2 a_0^2 [(1 - k) - (1 + k) \cos \Phi]$$

..... (10)

【数11】

$$\cos \Phi = \frac{1 - k}{1 + k}, \quad k = \frac{1 - \cos \Phi}{1 + \cos \Phi}$$

..... (11)

【0040】次に、前記(1)式で示した物体を開口絞りを開けた状態で観察する場合、付加的な位相差の平均値 Φ を考慮した物体を O_r と表現すれば、次の(12)式のようになる。このときの前記(9)式に対応する差動

信号 S_r は、(9)式と同じ定数 k によって次の(13)式で示される。

【0041】

【数12】

$$\begin{aligned} O_r(+\delta) &= a \\ O_r(-\delta) &= b \cdot \exp[j(\Phi + \Psi)] \end{aligned}$$

..... (12)

【数13】

$$S_r = I_{i1}(O_r, \alpha_1) - k \cdot I_{i2}(O_r, \alpha_2)$$

..... (13)

【0042】他方、前記(4)、(5)式に前記(12)式を代入すると、次の(14)、(15)式が得られる。これらを前記(13)式に代入すると、次の(16)式が得られる。この(16)式の近似は、対物レンズ18などによる付加的な位相差の平均値 Φ が通常 $1 \sim 2^\circ$ 程度であるこ

とからすると、精度よく成り立つ。従って、以上の観察手法によれば、光学系に残留する位相の回転が良好に消去されるとともに、開口絞りを開けた状態でも、(4)式で示される理想的な光学系の干渉像 $I_{i1}(\alpha_1)$ と等価な像を得ることができる。

【0043】

【数14】

$$I_{i1}(O_r, \alpha 1) = 1/2 |C|^2 [a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos(\psi + \phi)] \quad \dots\dots\dots (14)$$

【数15】

$$I_{i2}(O_r, \alpha 2) = 1/2 |C|^2 [a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos(\psi + \phi)] \quad \dots\dots\dots (15)$$

【0044】

【数16】

$$\begin{aligned} S_r &= I_{i1}(O_r, \alpha 1) - k \cdot I_{i2}(O_r, \alpha 2) \\ &\doteq 1/2 |C|^2 [(1-k) \{a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \psi\} + 2ab \cdot \sin \psi \sin \phi] \\ &\doteq 1/2 |C|^2 (1-k) [a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \psi] \\ &= (1-k) I_{i1}(\alpha 1) \\ &\doteq I_{i1}(\alpha 1) \quad \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

【0045】

【第2の基本的形態】次に、図2を参照しながら第2の基本的形態について説明する。この形態は、上述した第1の形態を落射照明法で実施するようにしたものである。この落射照明法では、前記コンデンサレンズ16と対物レンズ18が対物レンズ26によって共用されており、ノルスキープリズム14、20もノルスキープリズム24一つになる。また、物体からの反射光は、ハーフミラー28によって照明光学系の光軸AX0と別の方向に取り出される。

【0046】詳述すると、光線i00は、ポラライザ10によって、x(X1)軸に対して方位角θ1の偏波面の直線偏光となり、1/4波長板12を透過して位相変調を受ける。そして、光軸AX0に沿って進行し、ハーフミラー28に入射する。ハーフミラー28によって反射された光線は、光軸AXに沿って進み、ノルスキープリズム24、対物レンズ26を順に透過する。これらノルスキープリズム24、対物レンズ26の作用によって、(X3, Y3)座標面である物体面S上で2θシャーした照明光EO、OEが得られる。照明光EOは、Y3軸に平行な偏波面の直線偏光、照明光OEはX3軸に平行な偏波面の直線偏光である。同様に、照明光EO、OE間の相対的な位相差αは、ポラライザ10の方位角θ1を変化させることによって可変できる(前記(2)式参照)。

【0047】物体面S上の物体によって反射された照明光は、対物レンズ26、ノルスキープリズム24の作用により再び1つの光線に合成される。なお、物体が位相差の無い完全な鏡面である場合に、物体とノルスキープリズム24との間で照明光EO、OE間に与えられる位相差が2πの整数倍となるように、ノルスキープリズム24の位置が光軸AXを横切る方向に調整される。ノルスキープリズム24によって再び1つになった光線は、ハーフミラー28に入射する。そして、これを透過した光線が偏光ビームスプリッタ22に入射する。以後の作用は、上述した第1の形態と同様である。

【0048】

【実施例1】次に、図3を参照しながら本発明の実施例1について説明する。基本的な構成は、前記図1と同様である。図3において、レーザー光源50から射出された光線は、X軸に対してY軸を正としたとき-45°の方位の直線偏光である。この光線は、ビームエキスパンダー52によって平行光となり、反射ミラー53で反射されてXY走査部54に入射する。光線は、XY走査部54で空間的に走査偏向される。走査後の光線は、第1リレーレンズ56、第2リレーレンズ58を経て、コンデンサレンズ16の瞳位置近傍に位置する1/4波長板12、ノルスキープリズム14に入射する。ノルスキープリズム14を通過すると、互いの偏光方向が直交する二つの直線偏光であって、僅かな相対角度をなす光線に分離され、コンデンサレンズ16に入射する。コンデンサレンズ16によって屈折された各光線は、スライドガラス60上の物体62上でビームスポットを形成する。

【0049】物体62上には、ノルスキープリズム14の作用により、わずかに位置のずれた2つのスポットが近接して形成される。これらのスポットは、XY走査部54の作用によって物体62上で2次元走査する。なお、XY走査部54は、同期装置80、アクチュエータ88を介して駆動されている。

【0050】物体62を透過した光線は、対物レンズ18に入射して屈折され、対物レンズ18の瞳位置近傍に位置するノルスキープリズム20によって1つの平行光線に合成される。合成後の光線は、偏光ビームスプリッタ22に入射する。偏光ビームスプリッタ22を透過した光線i1は、x軸に対して45°の方位の直線偏光となる。偏光ビームスプリッタ22で反射された光線i2は、x軸に対して135°の方位の直線偏光となる。

【0051】なお、上述した各光学素子の光軸AXを中心としたx軸に対する方位角は、y軸方向を正とすると、1/4波長板12の光学軸は+45°、ノルスキープリズム14、20の楔の向きは0°、偏光ビームスプリッタ22のアナライザ角(θ2)は+45°となっている。なお、これらは、前記図1と同じである。

【0052】また、上述したように、スライドガラス60ないしは物体62上における2つのビーム間に位相差を生じるようなものが全くない場合、例えば平行平板のようなときに、2つのノマルスキープリズム14、20の間で2つの光線に与えられる位相差の初期値が 2π の整数倍になるように、光軸AXを横切る方向にノマルスキープリズム14をアクチュエータ64によって位置調整する。アクチュエータ64は、コンピュータ66によって制御されている。

【0053】偏光ビームスプリッタ22を透過した光線i1は、レンズ68によって屈折し、CCDなどで構成された光電変換素子70によって光電変換されて映像信号が出力される。偏光ビームスプリッタ22で反射された光線i2は、レンズ72によって屈折し、光電変換素子74によって光電変換されて映像信号が出力される。光電変換素子74から出力される映像信号は、光線i2に関する光電変換信号であって、減衰器（乗算器）76により、係数kが前記(11)式に従って乗じられる。なお、係数kは、物体が存在しないときの差動信号がゼロとなるように実験的に設定してもよい。

【0054】光電変換素子70、減衰器76からそれぞれ出力された一組の映像信号は、差動増幅器78に入力され、差動増幅器78では両者の差動信号が出力される。この差動信号は、前記(13)又は(16)式に示したSrに相当する。この差動信号Srは、同期装置80を経て画像表示部82上に表示される。同期装置80により、信号の取り込みがXY走査部54の走査に同期して行われる。

【0055】他方、コンピュータ66では、差動信号SrがD/A変換され、必要に応じて画像データとして蓄積される。観察者は、インターフェイス84を介して蓄積されたデータの画像表示部82への表示や、周知の画像処理技術に基づく画像演算を実行できる。なお、本実施例において、1/4波長板12はなくても全く問題はない。

【0056】

【実施例2】次に、図4を参照しながら実施例2について説明する。この実施例2は、前記実施例1を落射照明法によって構成した例であり、前記第2の基本的形態に対応する。同図において、レーザー光源50から射出された光線は、ビームエキスパンダー52によって平行光となり、更にXY走査部54で空間的に走査偏向される。走査後の光線は、第1リレーレンズ56、第2リレーレンズ58を経て、対物レンズ26の瞳面と共役な面の近傍に位置する1/4波長板12を通過する。1/4波長板12を透過した光線は、瞳投影レンズ86によって屈折し、ハーフミラー28によって光軸AXに沿った方向に反射され、ノマルスキープリズム34に入射する。ノマルスキープリズム24を通過すると、互いの偏光方向が直交する二つの直線偏光であって、僅かな相対

角度をなす光線に分離して進行し、対物レンズ26に入射する。対物レンズ26によって屈折された各光線は、スライドガラス60上の物体62上でビームスポットを形成する。

【0057】物体62上には、ノマルスキープリズム24の作用により、わずかに位置のずれた2つのスポットが近接して形成される。これらのスポットは、XY走査部54の作用によって物体62上を2次元走査する。

【0058】物体62によって反射された光線は、再び対物レンズ26に入射して屈折され、対物レンズ26の瞳位置近傍に位置するノマルスキープリズム24を再度通過してハーフミラー28に入射する。全振幅の一部分はハーフミラー28を透過して偏光ビームスプリッタ22に達する。以後の作用は、上述した実施例1と同様であり、差動増幅器78において差動信号Srが得られる。なお、本実施例においても、1/4波長板12は、なくても全く問題ない。

【0059】

【実施例3】次に、図5を参照しながら実施例3について説明する。この実施例3は、前記実施例2とほぼ同様であるが、本実施例ではXY走査部54の位置が異なっている。すなわち、物体62からの反射光が、もう一度XY走査部54を通過する配置となっており、いわゆるコンフォーカル顕微鏡の光学構成となっている。

【0060】このため、光電変換素子70、74に入射する光束は、物体62上におけるレーザービームの2次元走査にかかわらず常に静止する。従って、レンズ68、72によって光を集光するとともに、集光点（物点と共役な点）にピンホール90、92を設けてフレアなどの不必要な光を減少させている。もちろん、本実施例でも、前記実施例2と同様に1/4波長板12を設けなくてもよい。

【0061】

【実施例4】次に、図6を参照しながら実施例4について説明する。上述した実施例は、いずれもレーザービームを走査する走査型の例であるが、以下の実施例は結像型の例であり、本実施例は図1に相当する透過型の構成となっている。

【0062】図6において、光源100としては水銀ランプが用いられており、これから射出された光線は干渉フィルタ102によって最適な波長が選択される。干渉フィルタ102を透過した光は、コレクタレンズ104、第一リレーレンズ106、第2リレーレンズ108を順に経て、コンデンサレンズ12の瞳位置近傍に位置するボラライザ10、1/4波長板12、ノマルスキープリズム14を通過する。これにより、互いの偏光方向が直交する二つの直線偏光であって、僅かな相対角度を有する光線に分離して進行し、コンデンサーレンズ12によって屈折されて、スライドガラス60上の物体62を透過照明する。

【0063】物体62を透過した光線は対物レンズ18に入射して屈折するとともに、対物レンズ18の瞳位置近傍に位置するノマルスキープリズム20を透過し、アナライザ110に入射する。一部の光線はアナライザ110を透過し、アナライザ角に平行な偏波面の直線偏光の光線となる。光線としては、後述するように、ボラライザ10の方位角に応じて i_1 、 i_2 が得られる。アナライザ角は、上述した偏光ビームスプリッタ22のアナライザ角 θ_2 と同様となっている。アナライザ110を透過した光線はレンズ112によって屈折され、対物レンズ18の物平面に共役な像平面に干渉像を形成する。そして、前記実施例と同様に像平面上に光検知面が位置する二次元撮像素子114によって光電変換され、映像信号が二次元撮像素子114から出力される。

【0064】2つのボラライザ方位角に対応して得られる2つの画像信号は、画像蓄積部116内でA/D変換され、2つの画像データとして蓄積される。すなわち、まず、ボラライザ10の方位角 θ_1 がx方向に対して $-\pi/4$ にアクチュエータ118によって設定され、光線 i_1 に対応する強度画像が二次元撮像素子114で撮像され、これが画像蓄積部116内に保存される。次に、ボラライザ10の方位角 θ_1 がx方向に対して $+\pi/4$ にアクチュエータ118により設定され、光線 i_2 に対応する強度画像が二次元撮像素子114で撮像され、これを画像蓄積部116内に保存される。

【0065】コンピュータ66では、画像蓄積部116内に格納された2つの画像データのうち、光線 i_2 による画像の強度に対して係数 k を(11)式に従って乗じてから、光線 i_1 による画像に対して(13)、(16)式に従って差画像データが算出され、これが画像蓄積部116内に蓄積される。この差画像データは、D/A変換されて表示部82に出力されて表示される。なお、観察者は、前記実施例と同様に、インターフェイス84によって蓄積したデータの表示や他の画像演算を選択できる。

【0066】なお、本実施例における1/4波長板12も同様になくてもよい。しかしこの場合、シャープした光線OE、EOに対し、任意の位相差をボラライザ10の回転によって与えることはできない。

【0067】

【実施例5】次に、図7を参照しながら実施例5について説明する。この実施例5は、前記実施例4を落射照明法の構成とした例である。光源100から射出された光線は、干渉フィルタ102による波長選択の後、コレクタレンズ104、第一リレーレンズ106、第二リレーレンズ108、ボラライザ10、1/4波長板12を順に通過し、瞳投影レンズ86によって屈折されてハーフミラー28に入射する。ハーフミラー28により光軸AXに沿って反射された光線は、ノマルスキープリズム24を通過する。これにより、互いの偏光方向が直交する光線に分離されて進行し、対物レンズ26によって屈折

されて、スライドガラス60上の物体62を落射照明する。

【0068】物体62で反射した光線は、対物レンズ26、ノマルスキープリズム24、ハーフミラー28を順に透過し、アナライザ110に入射する。以後の作用は、前記実施例4と同様である。

【0069】

【他の実施例】この発明には数多くの実施の形態があり、以上の開示に基づいて多様に改変することが可能である。例えば、次のようなものも含まれる。

(1) 前記実施例では、CCDなどの二次元撮像素子を用いたが、撮像手段であれば、どのようなものを用いてもよい。その他、必要に応じてリレー光学系やミラーを用いてよい。光源も、水銀ランプの他、各種のものを用いてよい。2つのビームのシャープ量も可変としてよい。

【0070】(2) 前記実施例は、本発明を主として顕微鏡に適用したものであるが、物体の観察全般に本発明は適用可能である。例えば、物体の段差測定、磁気ヘッド、ウエハ、レチクルなどの欠陥検査、物体の表面形状を加味した位置測定に有効である。

【0071】(3) 前記実施例では、位相差調整機構として、1/4波長板と回転可能なボラライザを用いたが、ノマルスキープリズムを光軸を横切る方向に出し入れすることでも同様の効果を達成可能である。他に、例えば液晶などの屈折率を可変な素子を用いて位相差調整を行うようにしてもよい。

【0072】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、位相差が調整された2つの偏光方向の光をシャープして物体に照射し、合成後の光から得た干渉像に強度調整を行って微分干渉像を得ることとしたので、光学系に残留する位相の回転が良好に除去されるとともに、理想的なコントラストの微分干渉像が任意の照明系の開口絞りの大きさに観察可能な結像式やレーザ走査式の顕微鏡を単純な光学構成で得ることができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例の第1の基本的な形態を示す斜視図である。

【図2】この発明の実施例の第2の基本的な形態を示す斜視図である。

【図3】この発明の実施例1を示す図である。

【図4】この発明の実施例2を示す図である。

【図5】この発明の実施例3を示す図である。

【図6】この発明の実施例4を示す図である。

【図7】この発明の実施例5を示す図である。

【符号の説明】

10…ボラライザ

12…1/4波長板

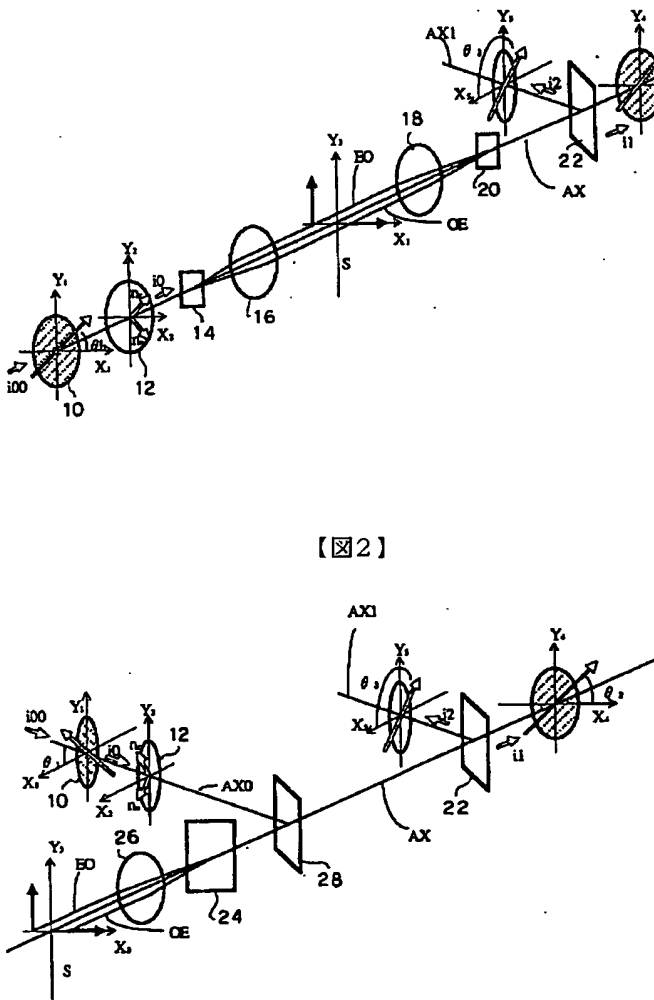
14、20、24…ノマルスキープリズム

16…コンデンサレンズ

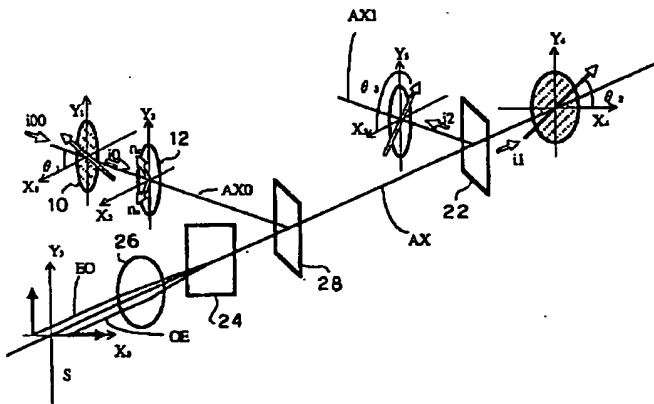
18, 26...対物レンズ
 22...偏光ビームスプリッタ (アナライザ)
 28...ハーフミラー
 50...レーザ光源
 52...ビームエキスパンダ
 54...X-Y走査部
 56, 58...リレーレンズ
 60...スライドガラス
 62...物体
 64, 88, 118...アクチュエータ
 66...コンピュータ
 68, 72, 112...レンズ
 70, 74, 114...光電変換素子

76...減衰器
 78...差動増幅器
 80...同期装置
 82...表示部
 84...インターフェース
 86...瞳投影レンズ
 90, 92...ピンホール
 100...水銀ランプ
 102...干渉フィルタ
 104...コレクタレンズ
 106, 108...リレーレンズ
 110...アナライザ
 116...画像蓄積部

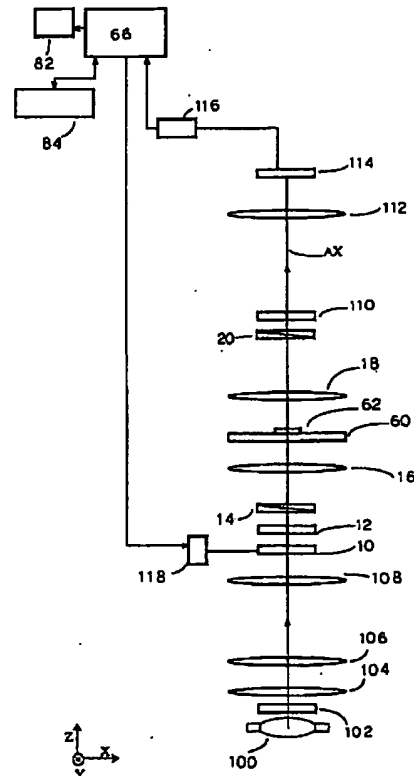
【図1】



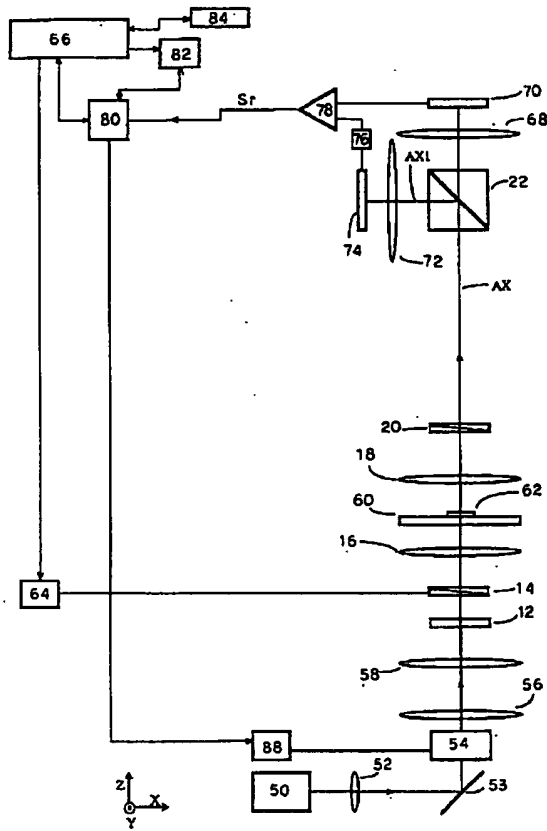
【図2】



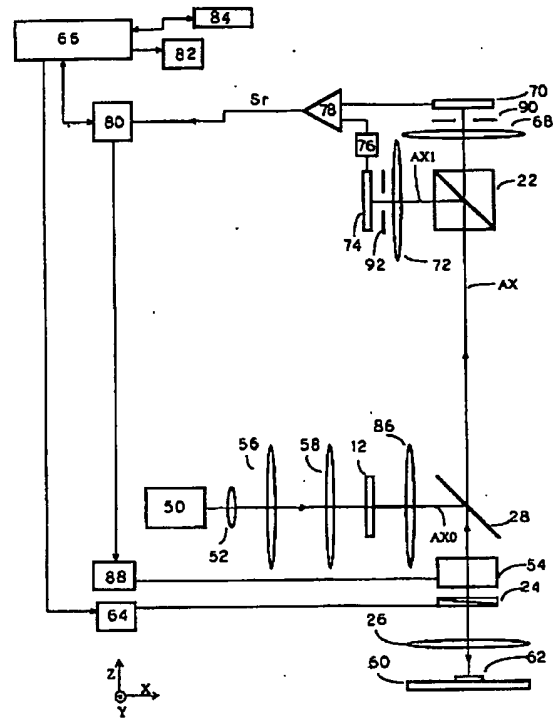
【図6】



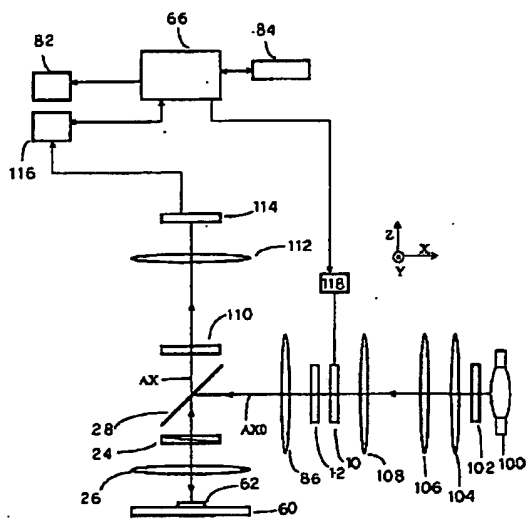
【図3】



【図5】



【図7】



E

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.